

나노소자 구현을 위한 전장을 이용한 나노와이어 조립 및 특성 연구

이승현, 모영환, 이경선, 김태운, 심현욱*, 서은경*, 남기석
전북대학교 화학공학부, 전북대학교 반도체 물성 연구 센터*

Assembly and Characterization of Nanowires using Electric-field for Nano-devices Fabrication

Seung Hyun Lee, Young Hwan Mo, Kyung Sun Lee, Tae Yun Kim,
Hyun-Wook Shim*, Eun-Kyung Suh*, Kee Suk Nahm

School of Chemical Engineering & Technology, Chonbuk National University
Department of Semiconductor Science & Technology and SPRC, Chonbuk National University*

서론

현재 실리콘 기반의 반도체 산업은 18개월에서 24개월마다 실리콘 집적회로 위에 조립할 수 있는 트랜지스터의 수가 두 배씩 증가한다는 무어의 법칙(Moor's law)에 따라 지난 40년 동안 계속적인 발전을 하고 있지만 현재의 발전 속도로 보면 2015년경에는 기술적인 한계와 엄청난 생산 설비비의 증가로 인한 경제적인 한계에 부딪힐 것으로 예상되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 나노기술이 대두되기 시작했고, 최근에 탄소나노튜브나 나노 와이어에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다. 이미 IBM 그룹에서 탄소나노튜브로 FET[1]를 만들었고, Lieber 그룹에서는 나노와이어의 전기적, 광학적 특성[2,3]이 연구되어지고 있다. 하지만 나노 소자를 만들고 논리회로를 만들기 위해서는 나노 튜브나 나노 와이어의 조립이 필요하게 되는데 많은 연구자들이 여러 가지 방법으로 나노 튜브나 나노와이어의 조립[3,4,5]을 연구하고 있다.

이론

탄소 나노 튜브는 구조적 결함이 거의 없는 상태로 제조가 가능하며 탄소-탄소의 결합 강도가 높을 뿐만 아니라 높은 인장강도와 탄성을 가지고 있으며 열 방출이 높다. 또한 낮은 전압에서의 전자의 전계 방출이 좋으며 많은 양의 수소를 저장할 수 있다. 이러한 특성을 가지고 있는 탄소 나노 튜브는 나노 크기의 전자소자, FED, 이차 전지 음극, 수소 저장등 많은 분야에서 연구되어지고 있다. 또한 탄소 나노 튜브에는 단일벽 탄소 나노 튜브와 다중벽 탄소 나노 튜브가 있는데, 단일벽 탄소 나노 튜브는 음전하[6]를 띄고 있다고 보고되었다. 이러한 단일벽 탄소 나노 튜브를 조립하기 위해서 많은 연구자들이 $-NH_2$ 그룹을 이용한 조립방법[5]과 전기장을 이용한 조립방법[3,4] 등이 연구되어지고 있다. $-NH_2$ 그룹을 이용한 조립방법은 음전하를 띄고 있는 단일벽 탄소 나노 튜브와 양전하를 띄고 있는 $-NH_2$ 그룹의 결합력에 의해 조립되어지고 전기장을 이용한 조립방법은 전극에 전압을 인가시키면 전극과 전극사이에서는 전기장이 발생하게 되며 발생된 전기장 흐름 방향으로 탄소 나노 튜브가 조립되어진다. 본 연구에서는 전기장을 이용한 방법을 선택하여 단일벽 탄소 나노 튜브를 조립하고 조립되어진 나노 와이어의 전기적 특성을 측정하였다.

실험

단일 벽 탄소 나노 튜브는 일진 나노텍(주)에서 구입하여 실험에 사용하였다. 전극은 back gate로 사용되어지는 Si(100)기판 위에 절연체로써 SiO_2 (970 nm)를 사용하였고 전극은 Pt(70 nm)/Ti(30 nm)로 제작되었으며 분산제로는 DMF(dimethylformamide)[6]과 에탄올[4]를 사용하였다. 구입한 단일 벽 탄소 나노 튜브는 20 ml의 에탄올에 1 mg의 탄소

나노 튜브를 넣어 충분히 초음파 처리로 분산시킨 후 분산된 용액을 10 ml 취하여, 취한 10 ml 용액에 다시 순수한 에탄올을 10 ml 넣어 초음파 처리를 한다. 이러한 방법으로 단일 벽 탄소 나노 튜브와 에탄올이 1mg : 160 ml의 비율로 된 시료를 만든다. 만들어진 시료를 3 V, 6 V, 10 V로 인가되어진 전극에 떨어트려 시료가 모두 마를 때까지 전압을 인가시켜 단일벽 탄소 나노 튜브를 조립하였다. 또한 단일벽 탄소 나노 튜브와 DMF의 비율이 1 mg : 80 ml로 희석하여 분산시킨 후 HD-4155A probe station을 이용하여 2 V의 전압을 인가하여 단일벽 탄소 나노 튜브를 조립한 후 전기적 특성을 측정하였다. 단일벽 탄소 나노 튜브가 조립되어진 전극의 표면 현상을 분석하기 위하여 전계 방출 주사 전자 현미경 (field emission scanning electron microscopy; FE-SEM) 이용하였고 단일벽 탄소 나노 튜브의 전기적 특성을 분석하기 위해 HD-4155A probe station을 사용하였다

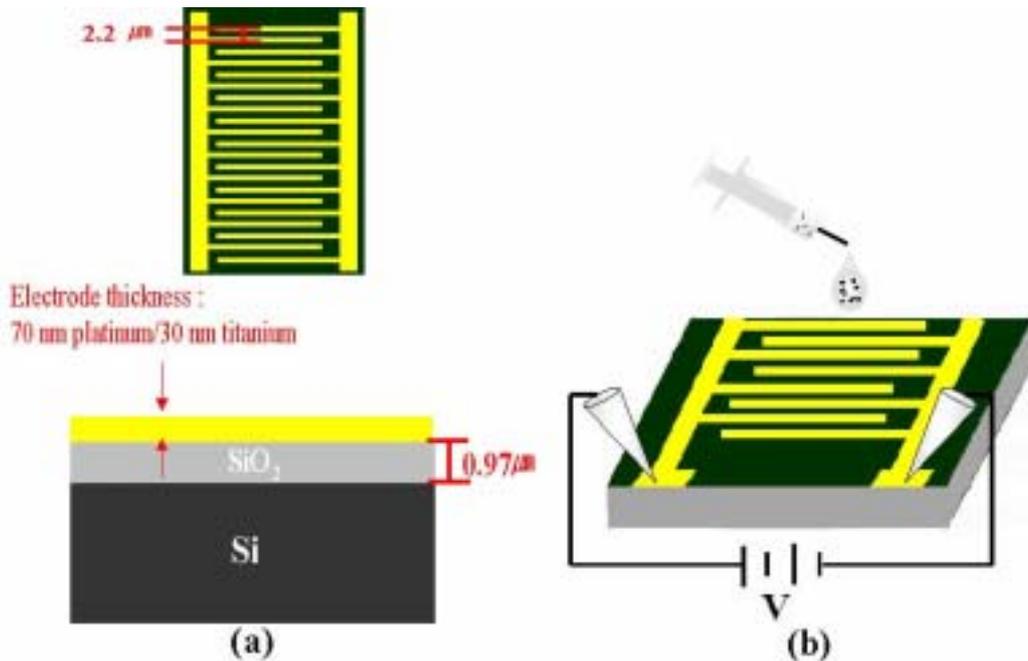


Fig 1. Schematic of electrode and alignment by electric field; (a) Top- and cross-sectional views of the electrode structures; (b) The electrodes are biased after a drop of nanotube solution is deposited on the substrate

결과 및 토론

(1) 전압에 따른 탄소 나노 튜브의 위치 변화

단일벽 탄소 나노 튜브와 에탄올을 1 mg : 160 ml의 비율로 희석하여 초음파 처리를 하여 충분히 분산시킨 후 전극에 전압을 3 V, 6 V, 10 V로 인가하여 인가되어진 전압에 따른 탄소 나노 튜브의 위치와 정렬 정도를 관찰하였다. Fig 2. (a)와 (b)에서 관찰되어진 것처럼 3 V에서 6 V로 전압이 증가하였을 때 더 많은 탄소 나노 튜브와 탄소 덩어리들이 전극 끝 부분으로 모이게 되는데, 전극 끝 부분으로 모이는 이유는 전극의 끝 부분에서 가장 강한 전기장이 발생[4]하기 때문이다. 따라서 탄소 나노 튜브와 탄소 덩어리들이 전극 끝 부분으로 이동하면서 탄소 나노 튜브와 탄소 덩어리들이 서로 뭉치는 현상을 관찰 할 수 있었고 10 V로 증가되었을 때 더욱 더 많은 탄소 나노 튜브와 탄소 덩어리들이 뭉치면서 전극 끝 부분으로 모이는 것을 관찰 할 수 있었다. 이 실험 결과, 낮은 전압에서 탄소 나노 튜브를 조립하는 것이 전극에서 보다 균일하게 조립되어 진다는 것을 알 수 있었다.

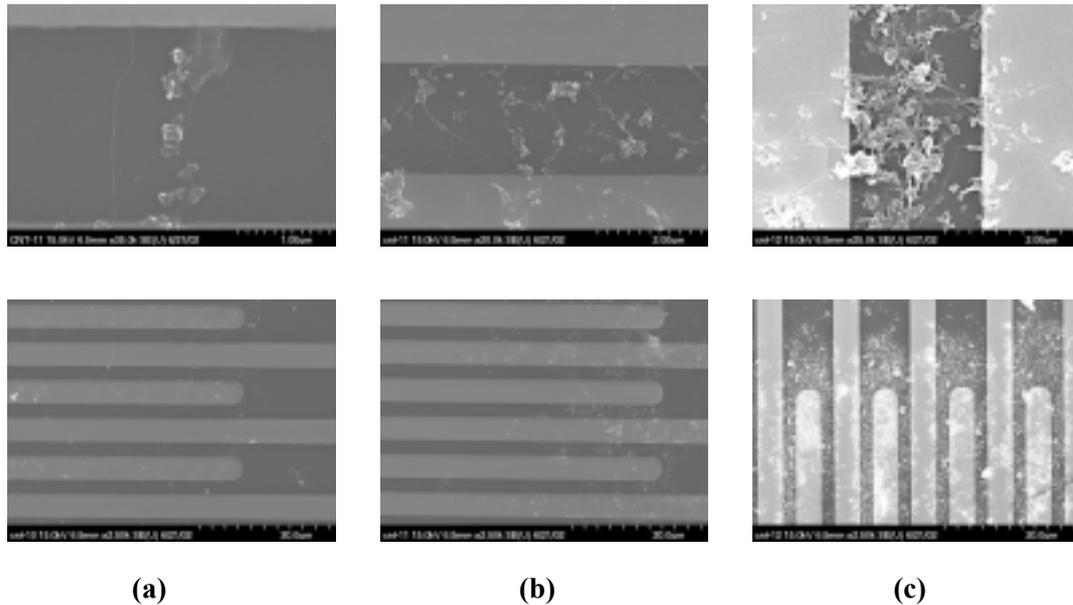


Fig 1. FE-SEM image of the SWNTs sample aligned with an electric field; (a) 3 V; (b) 6 V; (c) 10 V

(2) 전기적 특성

전극에 조립되어진 탄소 나노 튜브의 전기적 특성을 측정하기 위해 탄소 나노 튜브와 DMF의 비율이 1 mg : 80 ml에서 분산되어있는 시료를 사용하였으며 HD-4155A probe station을 사용하여 2 V의 전압을 인가하여 탄소 나노 튜브를 조립한 후 I-V curve를 측정하였다. 1 mg : 80 ml의 시료를 만들 때 시료 속에 탄소 덩어리의 양을 줄이기 위해 1 mg : 20 ml의 시료를 만들어 초음파 처리를 충분히 하여 분산시킨 직후 2분 동안 덩어리들이 가라앉게 한 후에 10 ml의 시료를 취한다. 취한 시료에 다시 순수한 DMF 10 ml를 넣어 충분히 초음파 처리를 하는 방식으로 1 mg : 80 ml의 시료를 만들었다. Fig 3.의 (a), (b), (c)의 그래프는 동일한 샘플에 전압을 1 V, 2 V, 3 V로 변화시켜가며 전류를 측정한 I-V curve이다. I-V curve가 non-linear한 형태를 보여주고 또한 전압이 증가할수록 전류가 급격히 증가하는 다이오드와 같은 특성을 보여주고 있는데 이러한 결과는 금속 접합을 하지 않았기 때문에 전극과 탄소 나노 튜브사이의 접합이 잘 이루어지지 않아서이다[5].

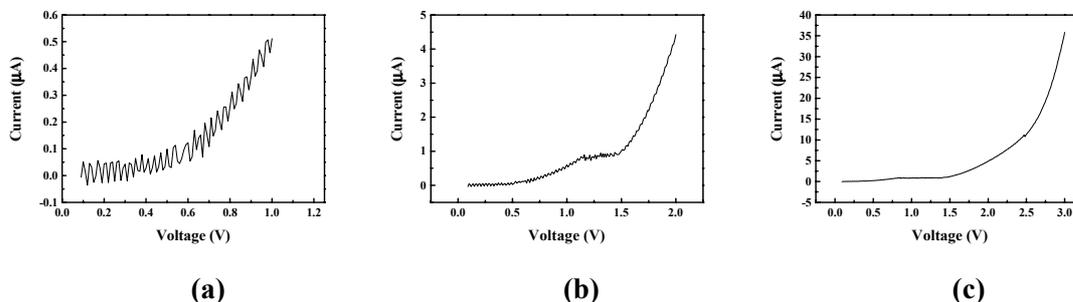


Fig 3. The graph of the I-V characterization

Fig 4의 이미지는 전극사이에 탄소 나노 튜브가 조립되어있는 FE-SEM 이미지이다. 그림에서 보여지듯이 탄소 나노 튜브는 여러 개의 단일벽 탄소 나노 튜브가 뭉쳐있는 다발

형태를 보여주고 있는데 이러한 다발 형태의 탄소나노 튜브에 의해서 많은 양의 전류가 흐르게 된다.

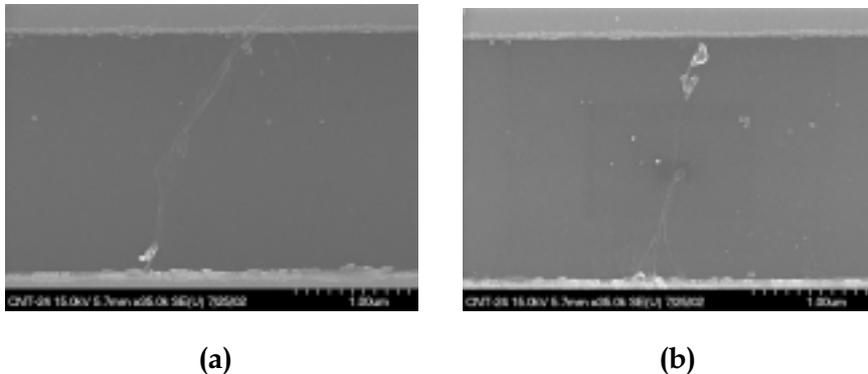


Fig 4. FE-SEM image of aligned SWNTs

지금까지의 실험 결과로 단일벽 탄소 나노 튜브는 전기장을 이용하여 전극 사이에 조립을 할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 하지만 전극의 끝 부분에서 강한 전기장이 발생하여 단일벽 탄소 나노 튜브가 전극 끝 부분으로 모이는 현상이 나타나기 때문에 높은 전압보다는 낮은 전압에서 개별적인 탄소 나노 튜브의 조립이 보다 쉽다. 또한 조립되어진 단일벽 탄소 나노 튜브의 I-V 측정결과, 금속 접합을 하지 않았기 때문에 접합이 잘 이루어지지 않아 다이오드와 같은 특성을 보여주는 것을 알 수 있었고, 다발 형태의 탄소 나노 튜브에 의해서 많은 양의 전류가 흐르는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. R. Martel, T. Schmidt, H. R. Shea, T. Hertel, and Ph. Avouris: Appl. Phys. Lett., 73(17), 2447 (1998).
2. Mark S. Gudiksen, Lincoln J. Lauhon, Jianfang Wang, David C. Smith and Charles M. Lieber: Nature, 415, 617 (2002).
3. Xiangfeng Duan, Yu Huang, Yi Cui, Jianfang Wang and Charles M. Lieber: Nature, 409, 66 (2001).
4. X. Q. Chen, T. Saito, H. Yamada and K. Matsushige: Appl. Phys. Lett., 78(23), 3714 (2001).
5. Emmanuel Valentin, Stephane Auvray, Julie Goethals, Justin Lewenstein, Laurence Capes, Arianna Filoramo, Aline Ribayrol, Ray Tsui, Jean-Philippe Bourgoin and Jean-Noel Patillon: Microelectronic Engineering, 61-62, 491-496 (2002).
6. Jie Liu, Michael J. Casavant, Michael Cox, D. A. Walters, P. Boul, Wei Lu, A. J. Rimberg, K. A. Smith, Daniel T. Colbert and Richard E. Smalley: Chem. Phys. Lett., 303, 125-129 (1999).